

Curseur de calcul Sauter
permettant le calcul des vannes

7000129002 B10



Table des matières:

1.0 Vue d'ensemble

- 1.1 Caractéristiques des éditions précédentes
- 1.2 Disposition et allure
- 1.3 Mode d'emploi succinct

2.0 Utilisation du curseur de calcul et exemples numériques

- 2.1 Eau en tant que support thermique
- 2.2 Débit avec des fluides de densité différente
- 2.3 Vapeur d'eau
- 2.4 Gaz et vapeur (réduction de la pression d'air)
- 2.5 Inversion de la suite logique du calcul

3.0 Remarques quant à la détermination des paramètres

- 3.1 Conversion dans les unités du curseur de calcul
- 3.2 Pression différentielle Δp sur la vanne ouverte en fonction des caractéristiques de l'installation
- 3.3 Choix de la caractéristique de la vanne

4.0 Limites physiques d'utilisation

- 4.1 Cavitation lors de l'utilisation de liquides
- 4.2 Pression différentielle critique lors de l'utilisation de fluides compressibles
- 4.3 Influence du frottement lors de l'utilisation de fluides visqueux et lors de pressions différentielles réduites

Annexe: Equations

1.0 Vue d'ensemble

Le curseur de calcul Sauter est utilisé pour le dimensionnement des vannes de réglage en relation avec des fluides liquides et gazeux.

1.1 Caractéristiques

- Réalisation mécanique stable, permettant une lecture exacte
- Mode d'emploi succinct avec exemples numériques
- Echelle graduée et numérotée avec regard vitré
- Avec eau en tant que support thermique: Débit obtenu par différence de température et puissance.
- Données concernant la densité des gaz et des vapeurs
- Méthode de calcul éprouvée permettant de déterminer le type de vannes (valeur k_v)
- Calcul avec des produits indépendants

1.2 Mise en page et allure (voir fig. de la page 3)

Sur la première page avec Liquides et Vapeurs d'eau, sont directement visibles, les pas les plus importants permettant de déterminer les appareils de réglage.

Ceci permet de résoudre presque tous les problèmes de chauffage et de climatisation.

Pour les cas universels, en relation avec des fluides compressibles on détermine le coefficient k puis la valeur k_v et cela coté verso.

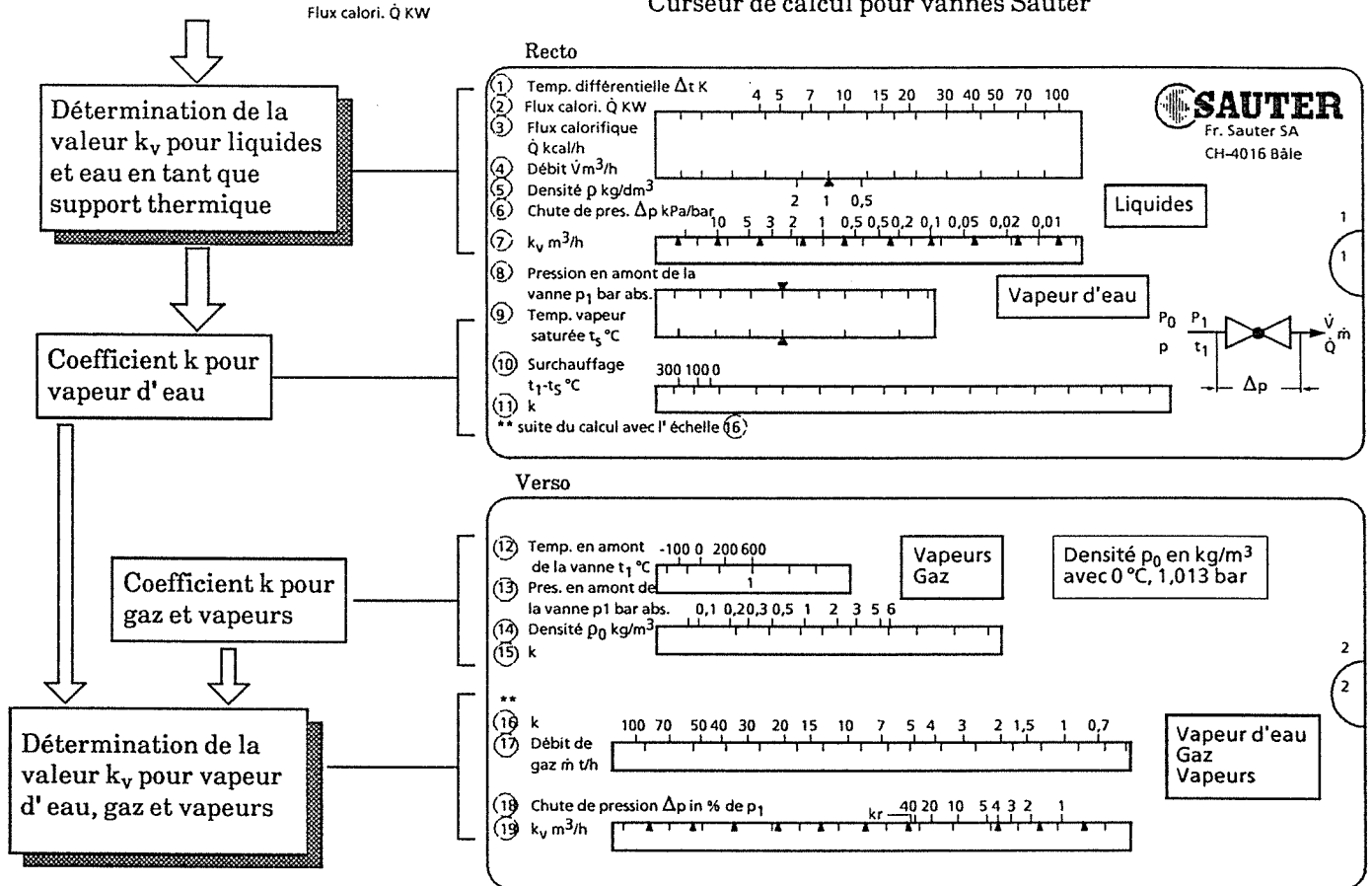
Coté recto

Liquides	① ... ⑦	Détermination de la valeur k_v pour eau en tant que support thermique.
	④ ... ⑦	Détermination de la valeur k_v pour liquide avec différentes densités.
Vapeurs d'eau	⑧ ... ⑪	Détermination du surchauffage et du coefficient k en tant que support thermique (Suite avec l'échelle ⑫)

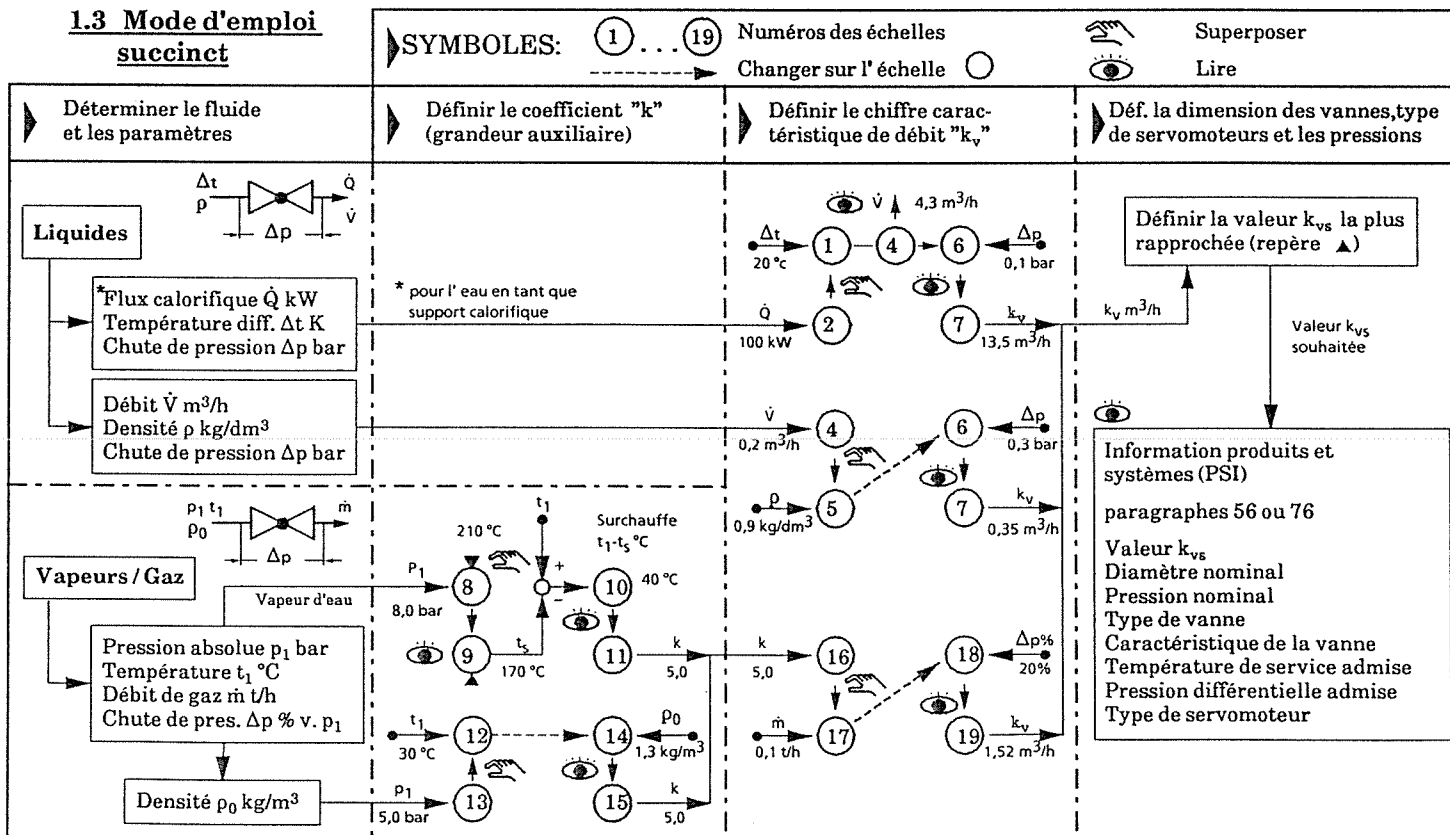
Coté verso

Gaz Vapeurs	⑫ ... ⑮	Détermination du coefficient k pour gaz et vapeurs avec différentes densités
Vapeurs d'eau Gaz Vapeurs	⑯ ... ⑲	Détermination de la valeur k_v en fonction du coefficient k pour vapeur d'eau et gaz.

Curseur de calcul pour vannes Sauter



1.3 Mode d'emploi succinct



Les chiffres représentés sont donnés en fonction d'un exemple de calcul (voir exemples sur les pages suivantes)

2.0 Utilisation du curseur de calcul en fonction d'exemples numériques

Pour ces exemples, il est conseillé d'utiliser simultanément le curseur de calcul.
(Les chiffres de la partie fixe et de la partie mobile, doivent concorder)

Dans ce paragraphe, les quatre méthodes possibles de calcul sont décrites:

- 1) Eau en tant que support thermique
- 2) Débit lors de densité différente
- 3) Vapeur d'eau
- 4) Gaz et vapeurs

Le mode d'emploi succinct reprend les mêmes exemples numériques. Pour la compréhension de la symbolique utilisée, nous conseillons de répéter les exemples en fonction du mode d'emploi succinct.

2.1 Exemple 1: Eau en tant que support thermique

Maison locatives avec chauffage à eau chaude et circulateur (données pour l'installation en pleine charge)

Energie thermique nécessaire calculée $\dot{Q} = 100 \text{ kW}$
 Température différentielle (départ-retour) aux corps de chauffe $\Delta t = 20^\circ\text{C} = 20 \text{ K}$
 Pression différentielle sur la vanne ouverte $\Delta p = 0,1 \text{ bar}$

Marche à suivre en fonction de l'exemple	Indications supplémentaires
Détermination de la valeur k_v	
a) Coté recto du curseur de calcul: Liquides Ajuster l'échelle (2) jusqu'à ce que le flux calorifique (100 kW) soit exactement positionné sur la valeur de la température différentielle Δt (20 K) de l'échelle fixe.	Parce que "l'eau en tant que support thermique" débute avec l'échelle (2) "flux calorifique". Si le flux calorifique est indiqué en kcal/h, il est alors possible de débiter avec l'échelle (3).
b) Lire le débit indiqué sur l'échelle (4) au niveau du triangle ▲: $\dot{V} = 4,3 \text{ m}^3/\text{h}$ Positionner sur l'échelle (6) la pression différentielle Δp (0,1 bar) et lire sur l'échelle (7) la valeur k_v : $k_v = 13,5 \text{ m}^3/\text{h}$	Avec l'ajustage selon a), tous les résultats peuvent être lus sans devoir décaler le curseur. La pression différentielle dépend presque toujours du débit. Influence de la perte de charge dans l'installation, voir point 3.2.
Détermination des types de vanne	
c) Choisir sur la même échelle (7) la valeur k_v la plus proche (caractérisée par ▲) et lire (16), valeur k_{vs} souhaitée. Dans l'information produits et systèmes (PSI), paragraphe 56 ou 76, sont mentionnées les valeurs k_{vs} existantes ainsi que les données suivantes: ● Diamètre nominale ● Pression nominale ● Caractéristique de la vanne ● Types de vannes (de passage ou à trois voies) ● Types de servomoteurs (élect.,hydr.,pneum.) ● Température de service admise ● Pression différentielle admise	La valeur k_v (coefficient de débit) est une valeur permettant de déterminer le diamètre nominal de la vanne souhaitée. La valeur k_{vs} est le coefficient de débit des vannes Sauter existantes lors d'une course de 100 %. Littérature (10) La valeur k_{vs} et l'orifice nominal ne sont pas toujours en relation directe $k_{vs} \approx \text{DN}^2/63$. Par exemple, avec de petites valeurs k_{vs} , le diamètre de passage est réduit, sans que le corps de vanne (DN) soit modifié.

2.2 Exemple 2: Débit avec fluides de différentes densités

Régulation du débit d'huile (données pour l'installation en pleine charge)

100 % du débit souhaité	$\dot{V} = 0,2 \text{ m}^3/\text{h}$
Poids spécifique (densité)	$\rho = 0,9 \text{ kg/dm}^3$
Pression différentielle sur la vanne	$\Delta p = 0,3 \text{ bar}$

Marche à suivre selon exemple	Indications supplémentaires
Détermination de la valeur k_v	
a) Coté recto du curseur de calcul: Liquides Ajuster l'échelle (4) jusqu'à ce que le débit souhaité (0,2 m³/h) soit exactement positionné sur la densité correspondante (0,9 kg/dm³)	Pour l'eau, la densité (1 kg/dm³) est mise en évidence par le signe ▲.
b) Lire sur l'échelle (6) la pression différentielle Δp (0,3 bar) et lire sur l'échelle (7) située en dessous, la valeur k_v attribuée: $k_v = 0,35 \text{ m}^3/\text{h}$	Les pressions différentielles en kPa, peuvent être converties directement à l'aide de l'échelle (6) (double échelle). Contrôler év. l'influence de la viscosité. Voir paragraphe 4.3.
Détermination de la vanne et du servomoteur	
c) Choisir sur la même échelle (7) la valeur k_v la plus proche (caractérisée par ▲) et lire (0,4), valeur k_{vs} souhaitée. Dans l'information produits et systèmes (PSI), paragraphe 56 ou 76, sont mentionnées les valeurs k_{vs} existantes ainsi que les données suivantes: • Diamètre nominale • Pression nominale • Caractéristique de la vanne • Types de vannes (de passage ou à trois voies) • Types de servomoteurs (élect.,hydr.,pneum.) • Température de service admise • Pression différentielle admise	La valeur k_v (coefficient de débit) est une valeur permettant de déterminer le diamètre nominal de la vanne souhaitée. La valeur k_{vs} est le coefficient de débit des vannes Sauter existantes lors d'une course de 100 %. Littérature (10) La valeur k_{vs} et l'orifice nominal ne sont pas toujours en relation directe $k_{vs} \approx \text{DN}^2/63$. Par exemple, avec de petites valeurs k_{vs}, le diamètre de passage est réduit, sans que le corps de vanne (DN) soit modifié.

2.3 Exemple 3: Vapeur d'eau

Appareil de détente de vapeur (données pour l'installation en pleine charge)

100 % de débit de vapeur souhaitée	$\dot{m} = 0,1 \text{ t/h}$
Pression absolue en amont de la vanne	$p_1 = 8 \text{ bar}^*$
Température en amont de la vanne	$t_1 = 210 \text{ °C}$
Pression différentielle sur la vanne	$\Delta p = 1,6 \text{ bar}^*$
* Nécessaire pour l'échelle (18) ($\Delta p \% = 100 \cdot \Delta p / p_1$)	$\Delta p \% = 20 \%$

Marche à suivre selon exemple	Indications supplémentaires
Détermination de la valeur k_v	
a) Coté verso du curseur de calcul Vapeur d'eau Ajuster l'échelle (8) jusqu'à ce que le triangle de lecture soit sur p_1 (8 bar). Lire sur l'échelle (9) la température de la vapeur saturée: $t_s = 170 \text{ °C}$ Calculer mentalement le surchauffage $t_1 - t_s$, soit $210 - 170 = 40 \text{ °C}$. Ajuster la valeur du surchauffage sur l'échelle (10) et lire sur l'échelle (11) le coefficient k lui étant attribué: $k = 5,0$	La conversion correspond à la caractéristique physique de la pression de vapeur d'eau saturée. Par cette mesure, le contrôle permettant de garantir que l'on se trouve réellement dans un état surchauffé (gazeux), est effectué automatiquement.
b) Coté verso du curseur de calcul Vapeur d'eau, gaz, vapeurs Déplacer l'échelle (17) jusqu'à ce que le débit de vapeur $\dot{m}$ (0,1 t/h) indique sur l'échelle fixe (16) la valeur k (5,0) (recherchée auparavant). Rechercher la chute de pression Δp en % de p_1 (20%) sur l'échelle fixe (18) et lire sur l'échelle (19) la valeur k_v lui étant attribuée: $k_v = 1,52 \text{ m}^3/\text{h}$	Pour $\Delta p\%$ plus petit que 47 %, un débit min. critique apparaît. Pour $\Delta p\%$ supérieur à 47 %, lire simplement la valeur "kr". Voir 4.2, pression différentielle critique.
Détermination de la vanne et du servomoteur	
c) Choisir sur la même échelle (19) la valeur k_v la plus proche (caractérisée par ▲) et lire (1,6), valeur k_{vs} souhaitée. Dans l'information produits et systèmes (PSI), paragraphe 56 ou 76, sont mentionnées les valeurs k_{vs} existantes ainsi que les données suivantes: • Diamètre nominale • Pression nominale • Caractéristique de la vanne • Types de vannes (de passage ou à trois voies) • Types de servomoteurs (élect.,hydr.,pneum.) • Température de service admise • Pression différentielle admise	La valeur k_v (coefficient de débit) est une valeur permettant de déterminer le diamètre nominal de la vanne souhaitée. La valeur k_{vs} est le coefficient de débit des vannes Sauter existantes lors d'une course de 100 %. Littérature (10). La valeur k_{vs} et l'orifice nominal ne sont pas toujours en relation directe $k_{vs} \approx \text{DN}^2/63$. Par exemple, avec de petites valeurs k_{vs}, le diamètre de passage est réduit, sans que le corps de vanne (DN) soit modifié.

2.4 Exemple 4: Gaz et vapeurs

Réduction de l'air comprimé (données pour l'installation en pleine charge)

100 % de débit d'air souhaité (en mètre cube normaux)**	$\dot{V}_0 = 77,5 \text{ m}^3_n/h$
Pression absolue en amont de la vanne	$p_1 = 5 \text{ bar}^*$
Température en amont de la vanne	$t_1 = 30 \text{ °C}$
Pression différentielle sur la vanne	$\Delta p = 1 \text{ bar}^*$
Densité lors de l'état normal	$\rho_o = 1,29 \text{ kg/m}^3_n$

* Est nécessaire pour l'échelle (18) $(\Delta p \% = 100 \cdot \Delta p / p_1)$ $\Delta p \% = 20 \%$

** Est nécessaire pour l'échelle (17) $\dot{m} = \dot{V}_0 \cdot \rho_o \cdot 10^{-3}$ $\dot{m} = 0,1 \text{ t/h}$

(Conversion selon 3.1)

Marche à suivre selon exemple	Indications supplémentaires
Détermination de la valeur k_v	
a) Coté recto du curseur de calcul gaz + vapeurs Ajuster l'échelle (13) jusqu'à ce que la pression p_1 (5 bar) soit exactement positionnée sur la température t_1 (30 °C) de l'échelle fixe (12). Lire la densité normale ρ_o (1,29 kg/m³) sur l'échelle fixe (16) et lire sur l'échelle (15) le coefficient k: $k = 5,0$	La densité des gaz les plus importants, peut être relevée sur le tableau "densité".
b) Décaler l'échelle (17) jusqu'à ce que le débit de gaz $\dot{m}$ (0,1 t/h) corresponde avec la valeur k (5,0) (recherchée auparavant) de l'échelle fixe (16). Rechercher la chute de pression Δp en % de p_1 (20%) sur l'échelle fixe (18) et lire sur l'échelle (19) la valeur k_v lui étant attribuée: $k_v = 1,52 \text{ m}^3/h$	Pour $\Delta p\%$ plus petit que 47 %, un débit min. critique apparaît. Pour $\Delta p\%$ supérieur à 47 %, lire simplement la valeur "kr". Voir 4.2, pression différentielle critique.
Détermination de la vanne et du servomoteur	
c) Choisir sur la même échelle (19) la valeur k_v la plus proche (caractérisée par ▲) et lire (1,6), valeur k_{vs} souhaitée. Dans l'information produits et systèmes (PSI), paragraphe 56 ou 76, sont mentionnées les valeurs k_{vs} existantes ainsi que les données suivantes: • Diamètre nominale • Pression nominale • Caractéristique de la vanne • Types de vannes (de passage ou à trois voies) • Types de servomoteurs (élect.,hydr.,pneum.) • Température de service admise • Pression différentielle admise	La valeur k_v (coefficient de débit) est une valeur permettant de déterminer le diamètre nominal de la vanne souhaitée. La valeur k_{vs} est le coefficient de débit des vannes Sauter existantes lors d'une course de 100 %. Littérature (10). La valeur k_{vs} et l'orifice nominal ne sont pas toujours en relation directe $k_{vs} \approx \text{DN}^2/63$. Par exemple, avec de petites valeurs k_{vs}, le diamètre de passage est réduit, sans que le corps de vanne (DN) soit modifié.

2.5 Inversion de la suite du calcul

A l'aide des échelles de calcul, il est possible de déterminer à partir de grandeurs connues une grandeur inconnue. Les exemples précédents sont spécialement prévus pour calculer la valeur k_v (suite chronologique des numéros d'échelles).

Le curseur de calcul permet l'inversion de tous les pas de calcul:

Exemple 5:

Avec une vanne ayant un $k_{vs} = 4$, un débit de $2 \text{ m}^3/\text{h}$ doit être atteint. Quelle est la pression différentielle?

Décaler l'échelle (4) de manière à ce que le débit ($2 \text{ m}^3/\text{h}$) corresponde avec la densité 1 (eau). Rechercher sur l'échelle (7) la valeur k_{vs} (4) et lire sur l'échelle (6) la pression différentielle: $\Delta p = 0,25 \text{ bar}$

Exemple 6:

Quel est le débit d'air ayant un coefficient d'état $k = 5 \text{ s}$ écoulant dans une vanne ayant une valeur $k_{vs} 6,3$ lors d'une chute de pression critique $\Delta p = 47\%$?

Décaler l'échelle (19) de manière à ce que la valeur k_v (6,3) corresponde avec la chute de pression critique = 47%. Rechercher sur l'échelle (16) le coefficient k (5) et lire sur l'échelle (17) le débit de gaz: $\dot{m} = 0,5 \text{ t/h}$

$$\dot{V}_o = \frac{\dot{m}}{\rho_o} \cdot 10^3 = 387 \text{ m}_n^3 / \text{h} \quad (\text{conversion selon 3.1})$$

Remarque:

La pression de vapeur saturée ou la température de vapeur saturée de l'eau peuvent être lues sur les échelles (8) et (9).

3.0 Remarques concernant la détermination des paramètres

3.1 Conversion dans les unités du curseur de calcul

Les unités physiques ont été choisies en fonction de celles utilisées dans notre branche et, pour les liquides, ne demandent aucune mesure particulière.

En fonction de la terminologie utilisée en relation avec la vapeur, le débit de gaz $\dot{m}$, sur l'échelle (17), est indiqué en t/h.

Dans divers cas, il faut convertir cette unité en kg/h ou en débit volumique $\dot{V}_o$:

$$\begin{array}{lll} \dot{V}_o = \dot{m} / \rho_o \cdot 10^3 & (\text{voir exemple 6}) & \dot{m} \text{ en t/h} \\ & & \rho_o \text{ en kg / m}^3 \\ \dot{m} = \dot{V}_o \cdot \rho_o \cdot 10^{-3} & (\text{voir exemple 4}) & \dot{V} \text{ en m}_n^3 / \text{h} \end{array}$$

Le calcul avec Δp en % de p_1 est particulier pour les fluides compressibles. Ce calcul permet de contrôler automatiquement si l'on se trouve dans un domaine critique. $\Delta p\%$ doit être calculé d'avance (exemples 3 et 4).

Il faut être attentif, lors de calculs avec des fluides compressibles, à ce que toutes les pressions soient indiquées en valeurs absolues. L'exactitude est en général suffisante si, pour les valeurs de pression relative en bar, l'on ajoute 1 bar.

3.2 Pression différentielle en fonction des données d'installation

La pression différentielle Δp permettant le calcul de la valeur k_v à l'aide du curseur de calcul, ne peut être définie de manière constante et directe que lors de cas isolés.

Lors de la première phase de l'étude du projet, des valeurs en fonction d'expériences faites sont utilisées, ces valeurs sont en général suffisantes pour un projet préliminaire et pour une première estimation de prix.

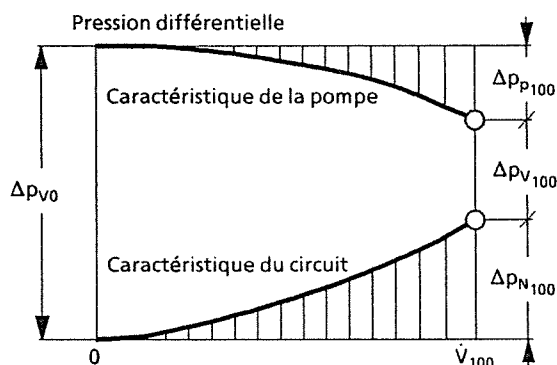
Lors de valeurs expérimentales incertaines, il faut prendre en considération que:

- des vannes trop petites ne garantissent pas la puissance projetée
- des vannes trop grandes ne permettent pas une régulation optimale
- des vannes mal dimensionnées ne peuvent être corrigées qu'à grands frais (c'est-à-dire échangées).

Il ne reste ainsi plus qu'à contrôler le circuit hydraulique lors d'une deuxième phase de planification. C'est-à-dire, lorsque la pompe, le générateur de chaleur, l'échangeur de chaleur ainsi que la résistance du circuit sont connus.

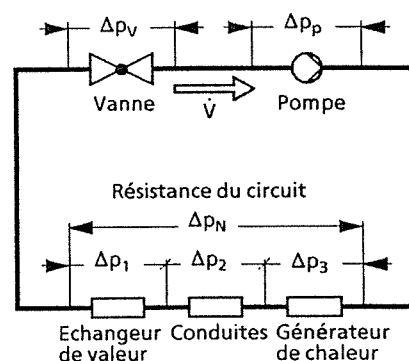
Le contrôle du surdimensionnement des échangeurs de chaleur, dont la régulation est réalisée avec un débit d'eau variable et une vanne de passage (voir 3.3, fig. 2) est particulièrement important.

Dans ce cas, lors du choix de la vanne en fonction de l'échelle ⑦, il n'est pas nécessaire de choisir la valeur k_{vs} supérieure la plus proche.



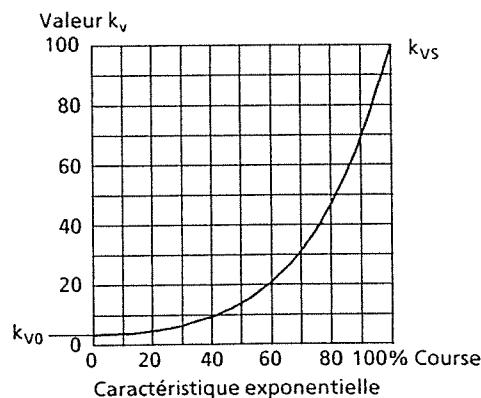
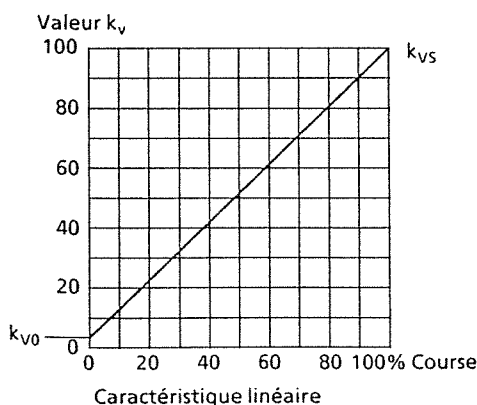
Δp_{v100} = pression différentielle avec la vanne ouverte

Δp_{v0} = pression différentielle avec la vanne fermée



La pression différentielle sur la vanne ouverte Δp_{v100} dépend du débit $\dot{V}_{100}$ calculé (en fonction de l'énergie thermique et de la température différentielle). Lorsque le débit augmente, la pression de la pompe diminue et la chute de pression dans le circuit augmente. La définition d'un système de régulation est considéré comme suffisant, lorsque la chute de pression avec la vanne ouverte (Δp_{v100}) et avec la vanne fermée (Δp_{v0}) est connue (autorité de la vanne $P = \Delta p_{v100} / \Delta p_{v0}$).

Littérature: (1, 2, 9)



Pour la majorité des types de vanne, une caractéristique linéaire et une caractéristique exponentielle sont à disposition: La pente de la caractéristique exponentielle est moins importante lors de petites courses et plus importante lors de grandes courses, elle est plus importante que celle de la caractéristique linéaire. Il est ainsi possible de linéariser le comportement de l'échange thermique d'une boucle de chauffage ou de refroidissement:

- 1 lorsque la pression différentielle augmente fortement lors de la fermeture de la vanne (voir 3.2, fig. 1)
- 2 lorsque l'échangeur de chaleur a une caractéristique non-linéaire importante (fig. 2)

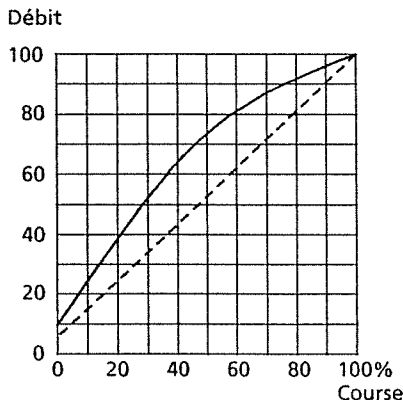


fig. 1:
Caractéristique de fonctionnement lors de la fermeture d'une vanne linéaire, ceci lorsque la pression différentielle augmente d'une valeur triple

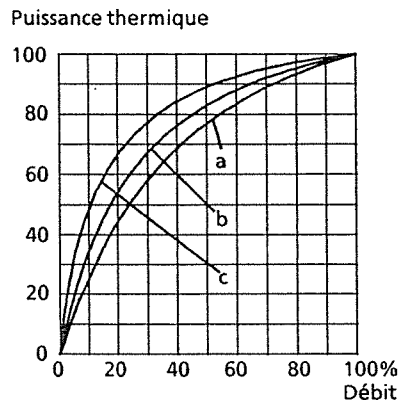


fig. 2:
Caractéristiques types d'un échangeur de chaleur:
a) Régulation de mélange 90/70/20* resp. 50/40/20*
b) Régulation de débit d'eau 90/70/20* resp. 50/40/20*
c) Régulation de débit d'eau 90/80/20* resp. 50/45/20*
parce que l'organe de réglage est surdimensionné

Autorité de la vanne:
$$\frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v0}} = \frac{1}{3}$$

* Température en pleine charge: départ / retour / air

En fonction de ces données, il est possible de définir certains cas particuliers.

- Une caractéristique exponentielle est choisie avec raison, lorsque les deux influences 1 et 2 apparaissent simultanément ou, lorsqu'en raison d'un manque de données concernant l'installation, un surdimensionnement possible doit être pris en considération (fig. 2c).
- Pour des circuits ayant une pression différentielle relativement constante et pour des échangeurs de chaleur surdimensionnés (refroidissement important: départ / retour), une caractéristique linéaire peut éventuellement être judicieuse.
- Des caractéristiques linéaires sont appropriées pour des robinets mélangeurs pour chauffage, commandés par une régulation de la température de départ. Outre les utilisations en climatisation et chauffage, elles peuvent également être retenues pour des boucles de régulation de niveau, de régulation du débit et de régulation de la pression, lorsque la pression différentielle (sur la vanne ouverte) est déterminée de manière exacte et que, lors de la fermeture, elle n'augmente pas plus de trois fois (fig. 1).

Indications:

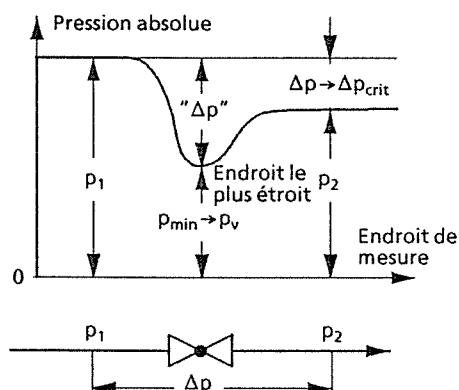
- Les vannes à trois voies sont en général raccordées en tant que vanne mélangeuse (avec servomoteur hydraulique également en tant que vanne de distribution).
- Pour l'assortiment existant de vannes, la voie de réglage se trouve sur le côté et la voie mélangeuse sur la partie inférieure (exception: petites vannes BH).
- Le plus petit débit réglable (k_{v0} pour une course de 0) génère, grâce aux influences 1 et 2, une modification amplifiée de l'énergie thermique. Afin que la variation de puissance ainsi provoquée soit petite, k_{v0} doit, si possible, être petit resp. le rapport de réglage $S_v = k_{vs} / k_{v0}$ doit, si possible, être grand. Les vannes de réglage Sauter ont généralement un rapport de réglage de 50. Littérature: (1, 2, 3, 4, 9, 10)

4.0 Limites physiques d'utilisation

4.1 Cavitation lors de l'utilisation de liquides

La répartition de la pression dans une vanne est semblable à celle rencontrée dans un diaphragme:

- A l'endroit le plus étroit, où l'on mesure également la vitesse la plus élevée, la chute de pression " Δp " la plus importante est générée. Elle n'est pas mesurable directement.
- En aval de ce point, une partie de l'énergie cinétique des liquides est transformée en chaleur (tourbillon) et l'autre à nouveau en pression.
- Ces différentes transformations (accélération / freinage) donnent comme résultante la chute de pression restante mesurable Δp .
- Le rapport $\Delta p / " \Delta p "$ est indépendant du débit et peut ainsi être désigné en tant que grandeur caractéristique de l'armature. Etant donné que la vanne a pour mission d'éliminer la pression, la pression résultante doit être aussi petite que possible, c'est-à-dire, z aussi grand que possible.



Répartition de la pression dans la vanne:

$$\frac{\Delta p}{" \Delta p "} = z \approx \text{const.}; \quad " \Delta p " = \frac{\Delta p}{z}$$

$$\text{Pression minimale: } p_{\min} = p_1 - " \Delta p " = p_1 - \frac{\Delta p}{z}$$

Cavitation lorsque:

$$p_{\min} = p_v \quad \rightarrow \quad p_v = p_1 - \frac{\Delta p}{z}$$

$$\Delta p \text{ est alors une valeur limite} \quad \rightarrow \quad \Delta p_{\text{crit}} = (p_1 - p_v) z$$

$$\text{avec } p_1 = p_2 + \Delta p_{\text{crit}} \quad \rightarrow \quad \Delta p_{\text{crit}} = (p_2 - p_v) \frac{z}{1-z}$$

p_v = Pression de la vapeur

Lors de petites contre-pressions p_2 et de pressions différentielles Δp élevées, la pression à l'endroit le plus étroit $p_{\min}$ peut être si petite, que la pression de la vapeur est atteinte et que le liquide s'évapore. De petites bulles de vapeur peuvent se former qui, avec l'augmentation de la pression, sont immédiatement détruites.

Ce phénomène a pour conséquence une émission importante de bruit et à long terme une détérioration de la vanne (attaque de la partie superficielle).

La cavitation en tant que phénomène permanent doit être évitée. La grandeur caractéristique z dépend de la position de la vanne. Elle diminue lorsque la course augmente. Vannes de réglage Sauter: $z = 0,35 \dots 0,65$

Pour un calcul approximatif on admet $z = 0,5$. Ceci permet d'obtenir d'après les équations ci-dessous un calcul très simple:

$$\Delta p_{\text{crit}} = (p_2 - p_v) \quad p_2 = \text{Pression absolue en aval de la vanne, } p_v = \text{Pression de vapeur}$$

$$\text{eau froide: } p_v = 0 \text{ bar} \rightarrow \Delta p_{\text{crit}} = p_2$$

$$\text{eau } 100^\circ\text{C: } p_v = 1 \text{ bar} \rightarrow \Delta p_{\text{crit}} = p_2 - 1$$

Pour d'autres températures d'eau, la pression de vapeur peut être lue directement sur le curseur de calcul: Ajuster la temp. sur l'échelle (9) et lire sur l'échelle (8) la pression de vapeur:

Mesures à prendre pour éviter la cavitation:

- augmenter la contre-pression p_2 (réservoir à eau chaude sous pression, vase d'expansion plus élevé, installer la vanne de réglage à un endroit plus bas)
- Lors d'un écoulement libre ($p_2 = \text{Atm} = 1 \text{ bar}$): détente progressive, par ex. deux vannes de réglage similaires en série.
- Lorsque la contre-pression p_2 est inférieure à la pression de vapeur, le fluide reste alors à l'état de vapeur.
- Installez un disque perforé après la vanne en tant qu'amortisseur de bruit. Ceci entraîne que la pression primaire doit être augmentée parce que la résistance a augmenté.

Littérature: (5, 6)

4.2 Pression différentielle critique avec des fluides compressibles

Avec la pression différentielle Δp , le gaz se détend et augmente de volume. La vitesse dans la section la plus étroite est, malgré le débit spécifique inférieur, beaucoup plus élevée que pour un liquide avec une même densité p_1 à l'entrée de la vanne (voir fig.).

Etant donné que l'onde de pression ne peut pas se propager plus rapidement que la vitesse du son, la vitesse dans la section la plus étroite ne peut pas être plus élevée que la vitesse du son.

Cet état est atteint avec un rapport déterminé de détente $\Delta p/p_1$. Ceci est également la raison de l'utilisation de la pression différentielle en % de p_1 pour le curseur de calcul.

Si le rapport critique de pression est dépassé, le débit spécifique ($\dot{m}$) n'augmente plus (même si la contre-pression p_2 serait abaissée jusqu'à l'aspiration). Avec le curseur de calcul, on utilise dans ce cas la valeur Δp_{kr} (échelle (18)).

Selon l'équation adiabatique de détente on admet:

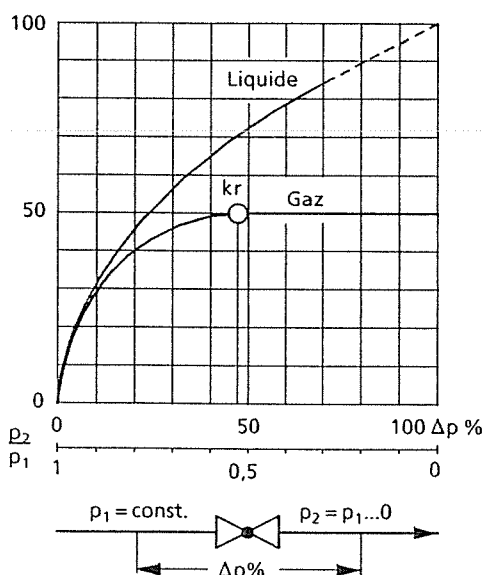
$\Delta p \text{ \% crit.} = 47 \text{ \%}$ pour gaz à deux atomes (air)

$\Delta p \text{ \% crit.} = 45 \text{ \%}$ pour gaz à trois atomes (vapeur d'eau)

Les valeurs critiques Δp sont valables pour la pression différentielle interne " Δp " (voir fig. paragr. 4.1). La valeur k_{vs} (valeur normée) doit être au minimum 10 % supérieure à la valeur k_v lue sur k_r .

Lorsque la pression différentielle augmente, le bruit augmente également. Une limitation d'utilisation comme celle donnée lors de la cavitation, n'est pas nécessaire. L'influence peu importante de la contre-pression, peut même être considérée en tant qu'avantage.

$\dot{m} \text{ \%}$ Débit massique



Comparaison de la caractéristique de débit d'un liquide et d'un gaz

Densité p_1 identique à l'entrée de la vanne

Contre-pression réduite $p_2 = p_1 \dots 0 \text{ bar}$

4.3 Influences du frottement lors de l'utilisation de fluides visqueux et lors de pressions différentielles peu importantes

Lors du calcul avec la valeur k_v , on admet que pour les liquides, seules des forces dues à l'inertie se produisent:

$$\dot{V} = k_v \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_o} \cdot \frac{\rho_w}{\rho}}$$

$\dot{V}$ et k_v en m^3/h

Δp_o = pression différentielle lors de la mesure de la valeur k_v (1 bar)

ρ_w = densité de l'eau

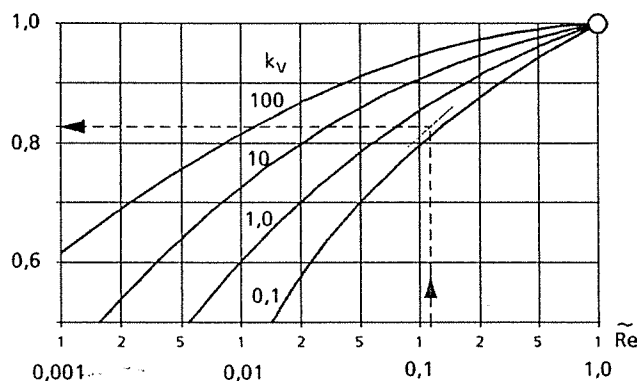
En effet, le coefficient de frottement de l'eau dans le domaine usuel de pression et d'orifices nominaux est si petit, que la détermination de la valeur k_v à l'aide du curseur de calcul se trouve assez précise.

Le résultat donné par le curseur de calcul devra être corrigé si une des trois influences mentionnées ci-dessous se présente:

- liquides visqueux
- pressions différentielles extrêmement petites (resp. vitesses)
- très petites ouvertures de vannes

Le coefficient de correction F_{corr} représenté dans le tableau ci-dessous donne la différence qui existe entre le débit avec frottement et la valeur d'entrée de l'équation indiquée. La valeur k_v indiquée sur l'échelle (7) et (19) est divisée par le coefficient F_{corr} et exige éventuellement une valeur k_{vs} étant une ou deux fois plus importante.

F_{corr} Coefficient de correction



$\tilde{Re} = \frac{\eta_w}{\eta} \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_o} \cdot \frac{\rho}{\rho_w}}$
$\tilde{Re} = \frac{\nu_w}{\nu} \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_o} \cdot \frac{\rho_w}{\rho}}$
$\tilde{Re} = \frac{\nu_w}{\nu} \cdot \frac{\dot{V}}{k_v}$
$k_{v\,corr} = \frac{k_v}{F_{corr}} \left[\frac{m^3}{h} \right]$

La grandeur variable $\tilde{Re}$ est un coefficient proportionnel. Il indique de combien le chiffre de Reynold, lors de l'utilisation considérée, est plus petit que celui fait lors de la mesure de la valeur k_v . Il peut être déterminé avec les équations mentionnées ci-dessous.

Les valeurs actives lors de la mesure, sont indiquées ci-dessous. Lors du calcul de $\tilde{Re}$, il est important d'utiliser, pour la définition du coefficient proportionnel, les mêmes unités.

Mesure de la valeur k_{vs} (eau 20°C)

Viscosité dynamique	$\eta_w = 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}$	ou Pa.s	resp. 1 Poise
Viscosité cinématique	$\nu_w = 10^{-6} \frac{m^2}{s}$		resp. 1 c Stokes
Densité	$\rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3}$		resp. 1 $\frac{kg}{dm^3}$
Pression différentielle	$\Delta p_o = 10^5 Pa$		resp. 1 bar

Exemple: Régulation du débit d'huile selon page 5

- Selon l'échelle (7) du curseur de calcul on lit, pour un débit de $\dot{V} = 0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ et $\Delta p = 0,3 \text{ bar}$, une valeur k_v de $0,35 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Avec l'indication supplémentaire de la viscosité cinématique, $\tilde{\text{Re}}$ peut être déterminé:
 $\nu = 5 \text{ cSt}$ (huile de chauffage EL)

$$\tilde{\text{Re}} = \frac{\nu_w}{\nu} \cdot \frac{\dot{V}}{k_v} = \frac{1 \text{ cSt}}{5 \text{ cSt}} \cdot \frac{0,2}{0,35} = 0,11$$

- Selon la caractéristique ($k_v = 0,35$) il en résulte $F_{\text{corr}} = 0,82$

- La valeur k_v corrigée est alors: $k_{v_{\text{corr}}} = \frac{0,35}{0,82} = 0,42$

Mesures à prendre:

Etant donné qu'une valeur k_v relativement petite est confrontée avec un liquide visqueux, l'influence du frottement ne peut plus être négligée.

Si d'autres sécurités supplémentaires n'existent pas, la valeur normalisée $k_{vs} = 0,63$ supérieure la plus proche doit être prise en considération pour l'étude du projet (sans l'influence du frottement, un $k_{vs} = 0,4$ serait déterminé).

Littérature: (7, 8)

Littérature:

- 1 SWKi 79-1 Hydraul. Schaltungen in Heizungs- und Klimaanlagen
Postfach 2327 3001 Bern
- 2 VDI 2068 Regelgeräte in heizungstechnischen Anlagen
- 3 VDI/VDE 3525 Regelung von raumluftechnischen Anlagen
- 4 Sauter Bulletin 69d Linearisierbarkeit und Regelbarkeit des wasserbeheizten
Lufterhitzers B. Junker
- 5 VDMA 24422 Richtlinien für die Geräuschberechnung an Regel-Armaturen
- 6 G.F. Stiles Cavitation in control valves, Control + Instrumentation April 1974
bzw. Sauter Technische Information: TID 837
- 7 Viskositätseinfluss bei der Dimensionierung von Stellventilen, H. Peter, atp Heft 1 1986
- 8 ANSI/ISAS 75.01 Control valve sizing Equations
DIN IEC 534, Stellventile für die Prozessregelung
- 9 B. Junker Klimaregelung Oldenbourg Verl. München, Wien
- 10 Strömungstechn. Kenngrößen von Stellventilen
Sauter Technische Information: TID 772 bzw. VDI 2173

Annexe: équations

(Chiffres encadrés = no. des échelles)

Eau en tant que support thermique

$$\left. \begin{aligned} \textcircled{2} &= f(\textcircled{4}, \textcircled{1}) \\ \dot{Q} &= f(\dot{V}, \Delta t) \end{aligned} \right\}$$

$$\dot{Q} [kW] = \dot{V} \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot \rho_w \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot c \left[\frac{kWh}{kg^\circ C} \right] \cdot \Delta t [^\circ C]$$

$$\rho_w = 1000 \quad c = 0.00116$$

Equation pour le débit de liquides

$$\left. \begin{aligned} \textcircled{4} &= f(\textcircled{5}, \textcircled{6}, \textcircled{7}) \\ \dot{V} &= f(\rho, \Delta p, k_v) \end{aligned} \right\}$$

$$\dot{V} \left[\frac{m^3}{h} \right] = k_v \cdot \left[\frac{m^3}{h} \right] \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_o} \cdot \frac{\rho_w}{\rho}}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta p_o &= 1 \text{ bar} \\ \rho_w &= 1 \text{ kg/dm}^3 \end{aligned} \right\} \text{Etat lors de la mesure de la valeur } k_v$$

Température de la vapeur saturée

$$\left. \begin{aligned} \textcircled{9} &= f(\textcircled{8}) \\ t_s &= f(p_1) \end{aligned} \right\}$$

$$t_s [^\circ C] \approx \frac{229,662 \cdot z}{16,85 - z} \quad z = \ln \left(\frac{p_1(\text{bar})}{6,1078} \cdot 10^3 \right)$$

Approximation empirique pour $p_1 = 1 \dots 60 \text{ bar}$

Equation pour le débit de vapeur d'eau, gaz et vapeurs

$$\left. \begin{aligned} \textcircled{17} &= f(\textcircled{19}, \textcircled{15}, \textcircled{18}) \\ \dot{m} &= f(k_v, k, \Delta p\%) \end{aligned} \right\}$$

$$\dot{m} \left[\frac{kg}{h} \right] = k_v \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot \sqrt{\frac{C/k}{\rho_w \cdot p_1 \cdot p_1} \left(\frac{kg}{m^3} \right)} \cdot \sqrt{\frac{X}{X-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{2/x} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{x+1}{x}} \right]}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta p_o &= 1 \text{ bar} \\ \rho_w &= 1000 \text{ kg/m}^3 \end{aligned} \right\} \text{Etat lors de la mesure de la valeur } k_v$$

$$\begin{aligned} X &= 1,3 \text{ (valeur moyenne air-vapeur)} \\ C &= 848,3 \text{ (constante du curseur de calcul)} \end{aligned}$$

Coefficients k

Vapeur d'eau:

$$\textcircled{11} = f(\textcircled{10})$$

$$k = f(t_1 - t_s)$$

$$k \left[\frac{m^3}{kg} \right] \approx \frac{1,81}{p_1(\text{bar})} \sqrt{273 + t_s} \sqrt{\frac{350 + (t_1 - t_s)}{350}}$$

Approximation empirique

Gaz et vapeurs:

$$\textcircled{15} = f(\textcircled{12}, \textcircled{13}, \textcircled{14})$$

$$k = f(t_1, p_1, \rho_o)$$

$$k \left[\frac{m^3}{kg} \right] = C \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_o \cdot p_o \cdot T_1}{p_1^2 \cdot \rho_o \cdot \rho_w \cdot T_o}} = \frac{27}{p_1} \sqrt{\frac{273 + t_1}{\rho_o \cdot 273}}$$

